

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

EINFLUß VERSCHIEDENER ZAHNTECHNISCHER
BEARBEITUNGSVERFAHREN AUF OBERFLÄCHEN-
GESTALT UND MATERIALABTRAG

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem
Fachbereich Medizin vorgelegt von

Joachim Schmidt
aus Wallmerod

Mainz 1984

Aus dem Institut für zahnärztliche Werkstoffkunde und
Technologie (Direktor : Prof. Dr. H. Marx) der Klinik
und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

EINFLUß VERSCHIEDENER ZAHNTECHNISCHER
BEARBEITUNGSVERFAHREN AUF OBERFLÄCHEN-
GESTALT UND MATERIALABTRAG

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde des Doktors der Zahnmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz, dem
Fachbereich Medizin vorgelegt von

Joachim Schmidt
aus Wallmerod

Mainz 1984

Dekan : Prof. Dr. Dr. W. Ketterl

1. Gutachter : Prof. Dr. H. Marx

2. Gutachter : Prof. Dr. K. Fuhr

Tag der mündlichen Prüfung : 11.07.1984

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

I. Einleitung

II. Hauptteil

1. Einleitung zum Hauptteil

2. Hauptteil des Hauptteils

3. Schlussatzung

III. Zusammenfassung

1. Zusammenfassung des Hauptteils

2. Zusammenfassung des Hauptteils

3. Zusammenfassung des Hauptteils

4. Zusammenfassung des Hauptteils

5. Zusammenfassung

6. Zusammenfassung des Hauptteils

7. Zusammenfassung des Hauptteils

8. Zusammenfassung des Hauptteils

9. Zusammenfassung des Hauptteils

10. Zusammenfassung des Hauptteils

11. Zusammenfassung

12. Zusammenfassung

IV. Literaturverzeichnis

V. Literaturverzeichnis

VI. Literaturverzeichnis

VII. Literaturverzeichnis

1. Literaturverzeichnis

Inhaltsverzeichnis

	Seite
I Einleitung	1
II Allgemeiner Teil	3
1. Ausarbeitung und Politur	3
2. Stumpflack und Platzhalterfolie	12
3. Fragestellung	14
III Spezieller Teil	
1. Beschreibung der Meßverfahren	15
2. Beschreibung der Prüfkörper	17
3. Beschreibung der Versuchsaufbauten	19
4. Untersuchte Legierungen, Platzhalterfolie und Stumpflacke	23
5. Prüfkörper vor der Bearbeitung	26
6. Bearbeitungsverfahren	28
7. Prüfkörper nach der Bearbeitung	40
8. Auswertung der Meßwerte und Perthogramme	41
9. Auswertung der Stumpflack- und Platzhalter- folienmessungen	43
10. Ergebnisse	44
IV Diskussion	48
V Zusammenfassung	53
VI Literaturverzeichnis	55
VII Vollständige Tabellen der Messungen	60

Lebenslauf



Digitized by the Internet Archive
in 2026

I. EINLEITUNG

Nicht erst durch die Goldpreiserhöhung und die damit verbundene Steigerung der Kosten für festsitzenden Zahnersatz wurde eine Diskussion über Materialeinsparungsmöglichkeiten ausgelöst.

Schon 1951 beschäftigte sich F.W. SELBACH (32) mit dem im zahntechnischen Laboratorium auftretenden Goldverlust.

In jüngerer Zeit wurden erste Untersuchungen veröffentlicht, welche sich mit dem Materialverlust bei Ausarbeitung und Politur einzelner Arbeiten beschäftigen (BEHNKE 1976, SCHWICKERATH 1981).

Bei diesen Untersuchungen wurden zwar Teilschritte der Ausarbeitung einzeln erfaßt, eine exakte Angabe des Materialverlustes pro Flächeneinheit war aber nicht möglich, da sich die Angaben jeweils auf ganze Inlays bzw. Kronen und Brücken bezogen, deren Oberflächenbestimmung jedoch nicht erfolgte. BEHNKE zeigte in seiner Untersuchung, daß schon durch exakte Modellation und richtiges Ausarbeiten und Polieren viel Material eingespart werden kann. Bezogen auf ein MOD-Inlay betrug der Unterschied zwischen geringstem und höchstem Ausarbeitungsverlust 197 mg, nach richtiger Ausarbeitung war der minimale Materialverlust bei der Politur um 87 mg geringer als der maximale.

Schon beim Modellieren kann Material eingespart werden, wenn zum Beispiel der für den Befestigungszement nötige Platz durch Verwendung eines Platzhalters freigehalten und nicht durch Ausschleifen des Kroneninnenraums nach dem Guß geschaffen wird.

Bisher wurde die Dimension des Abtrages, also die Dicke der bei Ausarbeitung und Politur von der gegossenen Oberfläche abgetragenen Schicht, nicht ermittelt. Im Rahmen dieser Arbeit soll der durch verschiedene zahn-technische Bearbeitungsverfahren bedingte Materialabtrag in Bezug auf diese Schichtdicke untersucht werden.

II. ALLGEMEINER TEIL

1. Ausarbeitung und Politur

Eine glatte, hochglänzende Oberfläche, die keine Retention für Speisereste und Plaque und keine Angriffstellen für Korrosion bietet, ist das Ziel von Ausarbeitung und Politur (16).

Nach WEIKART (40) kann man den gesamten Schleif- und Poliervorgang in sechs Teilabschnitte untergliedern :

1. Grobbearbeitung, das sog. Ausarbeiten
2. Grobschleifen
3. Feinschleifen
4. Feinstschleifen oder Vorpolieren
5. Polieren
6. Hochglanzpolieren oder Überpolieren

Heute werden in der Zahntechnik hier noch drei zusätzliche Arbeitsschritte vor- bzw. zwischengeschaltet :

1. Abstrahlen nach dem Guß
2. Glanzstrahlen
3. Elektrolytisches Glänzen oder Polieren

Die Ausarbeitung sowie das Grob- und Feinschleifen erfolgen mit Hilfe gebundener Abrasivstoffe.

Bindemittel sind hier Keramik, Feldspat und Wasserglas. Eine Ausnahme stellen die Degussit-Feinschleifstifte für die Frästechnik dar. Sie werden ohne Bindemittel aus in gesintertem Zustand geformtem Elektrokorund hergestellt (10, 19).

Die Schärfe des Schleifkörpers ist abhängig vom verwendeten Schleifmittel sowie von der Art des Bindemittels. Dieses muß so fest sein, daß die Körner des Schleifmittels nicht zu leicht herausbrechen, da sich sonst schnell eine Unwucht im Schleifkörper einstellt; es muß aber weicher sein als das Schleifmittel selbst, damit es sich schneller als dieses abnutzt und immer neue Spitzen und Kanten freigibt (19).

In der Zahntechnik finden folgende elf Schleifmittel Verwendung (6, 8, 14, 16, 17, 19, 39) :

1. Diamant, reiner Kohlenstoff, C, Härte 10 nach Mohs
2. Siliciumcarbid, Karborundum, SiC, Härte fast 10 nach Mohs, Kunstprodukt
3. Wolframcarbid, W_2C oder WC, Härte 9 nach Mohs
4. Borcarbid, B_4C , Härte 9 nach Mohs
5. Kunstkorund, Elektrokorund, vorwiegend Al_2O_3 , Härte über 9 nach Mohs
6. Naturkorund, Al_2O_3 , Härte 9 nach Mohs
7. Schmirgel, Gemenge aus Al_2O_3 , SiO_2 und Silikaten, durchschnittliche Härte 8 nach Mohs
8. Quarz, SiO_2 , Härte 7 nach Mohs

9. Granat, Mineraliengruppe, Härte 6,5 - 7,5 nach Mohs
10. Bimsstein, Obsidian, erstarrter Lavaschaum, vorwiegend SiO_2 und Al_2O_3 , Härte 5 - 6 nach Mohs
11. Tripel, terra tripolitana, Diatomeenpanzer, Härte 6 nach Mohs

Tripel (11) wird in feingemahlener Form beim Feinstschleifen und Polieren von Edelmetallen verwendet, hier dann allerdings nicht fest gebunden, sondern als Poliermittel in Pasten. Auch Bimsstein (Nr. 10) findet ungebunden beim Vorpolieren von Metallen in Breiform Verwendung (16).

Zur eigentlichen Politur werden sehr feinkörnige Materialien verwendet, sie können entweder weicher oder härter sein als das zu polierende Material (16). Die 11 gebräuchlichsten Poliermittel sind (6, 8, 14, 16, 17, 19, 39) :

1. Schlämmkreide, CaCO_3
2. Kalkspat, CaCO_3
3. Wiener Kalk, CaCO_3 und MgCO_3 , aus gebranntem Dolomit
4. Phosphorsaurer Kalk, Knochenasche
5. Os sepiae, Rückenschale des Tintenfisches
6. Chromoxid, Poliergrün Cr_2O_3
7. Eisenoxid, Fe_2O_3 , Pariser Rot

8. Magnesiumoxid, MgO
9. Zinnoxid, Zinnasche, SnO_2
10. Zinkoxid, ZnO
11. Bolus, weiß

Die Materialien werden meist in Form von Pasten eingesetzt. Die genaue Zusammensetzung der Polierpasten ist oft Fabrikgeheimnis (19).

Die gelbe Polierpaste der DEGUSSA enthält nach KNISCHEWSKI/GROSSE (19) Tripel und hartes Fett, sie eignet sich auch zum Vorpolieren.

Zum Feinstschleifen und Vorpolieren ebenfalls geeignet sind die sog. Gummipolierer, die in Form von Scheiben, Linsen, Walzen und Spitzen hergestellt werden. Sie enthalten sehr feine Schleifmittel von gleichmäßiger Korngröße in weicher Bindung; Bindemittel sind z.B. Kautschuk, Nylon, Polysiloxan, Silikonkautschuk und Schellack (19, 26).

Im Sandstrahlgerät kommen Quarz und Korund zur Anwendung; im zahntechnischen Bereich vorwiegend Normalkorund (braun) oder Edelkorund (weiß und rosa). Die Verwendung von Quarz als Strahlmittel ist verboten, da beim Abstrahlen durch Auftreffen auf die abgestrahlten Objekte kleinste Partikel aus den Strahlmittelkristallen herausgesprengt werden und solche Feinstäube aus SiO_2 silikogen sind.

Beim Abstrahlen mit scharfkantigen Strahlmitteln werden hervorstehende Teile im Sinne eines Schleifvorganges abgetragen, je nach Korngröße wird die Oberfläche hierbei mehr oder weniger aufgeraut und nivelliert (7, 16, 19, 41).

Beim sog. Glanzstrahlen werden entweder Glasperlen, allerdings nur bei relativ weichen Legierungen, insbesondere Edelmetalllegierungen, oder speziell präpariertes Kieselerdepulver verwendet. Da die Glanzstrahlmittel keine scharfen Kanten an der Oberfläche besitzen, tritt keine Abrasion auf. Es können aber hervorstehende Teile abgeschlagen werden. Die Oberfläche wird durch das Glanzstrahlen verdichtet; es entstehen kugelkalottenförmige Einschlüsse durch Verformung des Materials (4, 7, 10, 12, 16, 19, 22).

Die elektrolytische Politur, im Prinzip eine Umkehrung des Galvanisierens, unterscheidet sich von diesem durch zwei wesentliche Faktoren. Erstens werden konzentrierte Lösungen als Elektrolyte verwendet und zweitens wird das zu polierende Objekt als Anode geschaltet. Beim Galvanisieren dagegen werden schwache Lösungen mit einem als Kathode geschalteten Objekt verwendet (15).

Die Bearbeitung eines gegossenen Objektes vom Ausbetten bis zum Erreichen einer glatten, hochglänzenden Oberfläche erfolgt nach folgenden Grundsätzen :

Nach Entfernen der Einbettmassereste entweder mittels eines Ultraschallreinigungsgerätes oder eines Sandstrahlgerätes erfolgt das Schleifen mit abgestufter Körnung der Schleifmittel. Da diese härter sind als die zu schleifenden Metalle und zudem scharfe Spitzen und Kanten aufweisen, ist das Schleifen ein spanabhebender Vorgang, wobei die Schleifleistung von der linearen Geschwindigkeit des Kornes abhängt; hier gehen also sowohl der Umfang als auch die Drehzahl des Schleifkörpers mit ein. Weitere Parameter, durch die die Schleifleistung beeinflußt wird, sind Korngröße des Schleifmaterials, Härteunterschied zwischen Schleifmittel und beschliffenem Körper sowie aufgewendete Kraft. Ein zu großer Druck bedingt jedoch eine unerwünschte Wärmeentwicklung, welche in der oberflächlichen Metallschicht zur Verdichtung führt; eine Verdichtung während des Schleifens aber macht eine Politur unmöglich (19, 40).

Um diese Wärmeentwicklung zu verhindern, sollte der aufgewendete Druck mit steigender Drehzahl sinken und sollten nur scharfe Schleifkörper verwendet werden, da durch stumpfe Schleifkörper starke Reibungswärme erzeugt wird (19, 29).

Bei Verwendung scharfer Schleifkörper entsprechen Form und Tiefe der entstehenden Rillen der Korngröße des Schleifmaterials (16).

Das eigentliche Ausarbeiten oder Grobschleifen dient der Entfernung von Gußperlen, dem Verschleifen der Gußkanalansätze sowie der Formgebung, soweit diese nicht durch möglichst exakte Modellation in Wachs schon vorgegeben ist. Besonders im Bereich der approximalen Kontaktpunkte von Kronen und Brücken wird meist stärker modelliert; hier muß dann grobgeschliffen werden. Die Verwendung von Schleifkörpern mit abgestuft immer kleiner werdender Körnung führt zur Verminderung der Rauhtiefe und so letztlich zur polierbaren Oberfläche mit möglichst gleichmäßiger und geringer Rauhtiefe (2, 19, 20, 24, 27, 30, 33, 36, 40).

Hierbei muß jedoch darauf geachtet werden, daß bei jedem Schleifkörper mit feinerem Korn die Schleifrichtung um 90° geändert werden sollte, da nur so ein Verschleifen der Rillen des vorhergehenden Schleifkörpers möglich ist (16).

Auch kann die Überprüfung der Beschaffenheit der Oberfläche mit dem Auge bzw. der Lupe bei ständig wechseln der Schleifrichtung wesentlich einfacher erfolgen. Man schleift jeweils so lange, bis die Spuren des vorher verwendeten Schleifkörpers nicht mehr zu sehen sind (19, 40).

Die abschließende Hochglanzpolitur erfolgt unter leichtem Druck mit einer Schwabbel und wenig Poliermittel (z.B. Pariser Rot); sie verleiht der Oberfläche den erwünschten Spiegelglanz (16, 19, 40).

Das Abstrahlen der gegossenen Objekte nach dem Guß ist ein in zahntechnischen Laboratorien heute allgemein übliches Verfahren zum Entfernen von Einbettmasseresten und Oxidschicht. In der Modellgußtechnik werden die aus Co-Cr-Mo-Legierungen gegossenen Prothesengerüste meist in einem rotierenden Käfig für eine bestimmte Zeit abgestrahlt.

Kronen und Brücken, aus edelmetallfreien oder Edelmetall-Legierungen hergestellt, werden dagegen einzeln unter Sicht solange abgestrahlt, bis die Oberfläche sauber erscheint (20, 25).

Allgemein muß aber ein Abstand von mindestens 6 bis 8 Zentimetern von der Strahldüse eingehalten werden, da sonst bei dem üblichen Betriebsdruck von 6 bis 8 bar Verbiegungen der Arbeiten auftreten können (35). Es gibt auch Geräte mit niedrigerem Betriebsdruck von 4 bis 5 bar, diese werden meist nur für Kronen und Brücken aus Edelmetalllegierungen verwendet (4, 10).

Beim Glanzstrahlen muß ebenfalls ein Abstand von 6 bis 8 Zentimetern von der Strahldüse eingehalten werden, da die Betriebsdrucke ebenfalls zwischen 4 bis 5 bar bzw. 6 bis 8 bar liegen.

Die Dauer des Strahlvorganges wird sowohl bei Modellgußarbeiten als auch bei Kronen und Brücken mit dem Auge kontrolliert (4, 10, 20).

Mit Hilfe des elektrolytischen Glänzens werden besonders Kanten und Spitzen abgetragen, da sie eine größere Stromdichte als die Umgebung aufweisen (15). Meist wird daher die elektrolytische Politur vor der eigentlichen Politur mit Polierpaste und Bürste vorgenommen; sie kann die herkömmliche Politur, insbesondere die Hochglanzpolitur, noch nicht ersetzen (16).

Die Lösungen, welche für die verschiedenen Legierungen verwendet werden müssen, sind gebrauchsfertig im Handel. Die im zahntechnischen Bereich eingesetzten Geräte sind meist speziell zu diesem Zweck konstruierte Glanzgeräte. Nach HIRSING (15) genügt jedoch auch eine einfache Potentiometerschaltung und ein entsprechendes Gefäß zur Aufnahme von Lösung und zu glänzendem Objekt. Bei den speziellen Glanzgeräten wird die nötige Stromstärke anhand einer Anzeigeskala für jedes Objekt neu ermittelt oder nach Erfahrungswerten anhand von mitgelieferten Tabellen eingestellt (9).

2. Stumpflack und Platzhalterfolie

Der für das Einzementieren von Kronen notwendige Zementspalt ist abhängig von (21, 23, 30) :

1. Korngröße des Zements
2. Anmischverhältnis
3. Druck beim Einsetzen

Die Dicke der Zementschicht kann aufgrund der Korngröße nicht kleiner als $5\text{ }\mu\text{m}$ - $30\text{ }\mu\text{m}$ werden. Von der Dicke der Zementschicht und der Präparationsart ist die Randspaltbreite bzw. -höhe abhängig (23). Daher fordert MARXKORS (23) das Anrotieren einer 0,01 mm starken Zinnfolie auf den Stumpf als Platzhalter für den Zement vor dem Modellieren. Die Verwendung eines Platzhalters ist wesentlich besser als das nachträgliche Ausschleifen der Kronen, da bei Verwendung eines Platzhalters erstens eine gleichmäßige Zementschichtdicke entsteht und zweitens Material eingespart werden kann. Auch das Ausschaben des Wachsmodells von Kronen auf der Innenseite ist üblich.

Nachdem anfangs in vielen zahntechnischen Laboratorien einfacher Nagellack als Platzhalter verwendet wurde, sind heute zwei verschiedene Platzhaltersysteme zum Erreichen einer definierten Zementschichtstärke unter Kronen im Handel.

1. Stumpflacke
2. Platzhalterfolien

2.1. Stumpflacke

Die Anwendung der verschiedenen Stumpflacke erfolgt mittels eines im Deckel des Aufbewahrungsgefäßes befestigten Pinsels. Die Lacke trocknen alle sehr schnell. Da die Stumpflacke nicht farblos, sondern silberfarben bzw. goldfarben sind, kann man sehr genau den für einen guten Randschluß der Krone nötigen Platz nahe der Präparationsgrenze von Stumpflack freilassen oder freimachen, bevor der Lack eingetrocknet ist. Die Präparationsgrenze sollte dann etwa 0,5 mm vom Rand der Stumpflackschicht entfernt liegen (1).

2.2. Platzhalterfolien

Platzhalterfolien werden zusammen mit Trägerfolien im Tiefziehverfahren an einen Stumpf adaptiert; es gibt hier spezielle Tiefziehgeräte, welche mit Druckluft arbeiten, und einfache Handgeräte, bei denen die erwärmten und damit verformbaren Folien mittels einer Kittmasse, in die der Stumpf mit den Folien eingedrückt wird, adaptiert werden. Beide Verfahren bedingen ein Dünnerwerden beider Folien, da ja eine Dehnung im Bereich des Stumpfes erfolgt. Nach dem Tiefziehen werden die entstehenden Kappchen bis zirka 1 mm vor die Präparationsgrenze gekürzt. Die Platzhalterfolie verbleibt auf dem Stumpf, die Trägerfolie wird am Rand mit Wachs bis zur Präparationsgrenze verlängert und dient als Modellationsgerüst.

Vor dem Einbetten der Kronen werden die Platzhalterfolien entfernt, die Trägerfolien werden mit eingebettet und verbrennen rückstandsfrei (3, 13, 20).

3. Fragestellung

SELBACH (32), BEHNKE (5) und SCHWICKERATH (31) haben ihre Untersuchungen über den Materialverlust beim Ausarbeiten und Polieren jeweils auf ganze Gußfüllungen bzw. Kronen und Brücken bezogen. Bisher liegt aber keine exakte Untersuchung über den bei Ausarbeitung auftretenden Materialverlust in Bezug auf die Dicke eines gegossenen Körpers vor. Ebenfalls nicht untersucht ist die Dicke der Stumpf-lackschicht sowie die Dicke der Platzhalterfolie nach dem Tiefziehen. Nach Angaben der Firma ALMADENT beträgt die Dicke der Stumpf-lackschicht bei richtiger Anwendung 25 μm . Die Firma DEGUSSA gibt für das Goldglänzgerät 2 eine Oberflächeneinebnung im Bereich von 10 - 20 μm an. Laut Firma BFGO haben beide Adapta-Folien nach dem Tiefziehen etwa die Hälfte ihrer ursprünglichen Stärke. Da beim Auftragen von Stumpf-lack bzw. Verwendung von Platzhalterfolie eine bestimmte Schicht Material an der Innenwand gespart und beim Ausarbeiten und Polieren eine bestimmte Schicht Material an der Außenwand einer Krone abgetragen wird, soll die Stärke beider Schichten in dieser Arbeit untersucht werden, wobei die aus den einzelnen Bearbeitungsschritten resultierenden Veränderungen der Oberflächengestalt dokumentiert werden.

III. SPEZIELLER TEIL

1. Beschreibung der Meßverfahren

Zur exakten Aufzeichnung einer Oberfläche eignen sich besonders Meßgeräte, welche nach dem Tastschnittprinzip arbeiten. Verwendet wurde das PERTHOMETER S5P in Verbindung mit dem Vorschubgerät PRK. Das PERTHOMETER ist ein elektrisches Meßgerät zur Profilaufzeichnung, Meßwertanzeige und Protokollierung von Messungen an technischen Oberflächen. Hierbei wird das Profil mit Hilfe einer Diamantspitze abgetastet; das Welligkeitsprofil W ist das ertastete Profil P nach Filterung mit einem Rauheitsfilter definierter Grenzwellenlänge λ . Als Meßtaster wurde der Taster RFHTB 250 e in Verbindung mit einer 10 mm seitlich von ihm gleitenden Kufe verwendet; jede vermessene Oberfläche wird in Bezug zu der von dieser Kufe abgefahrenen Referenzoberfläche dargestellt.

Dies hat den Vorteil, daß nicht jeder Prüfkörper neu eingerichtet werden muß, sondern jeweils in Bezug zur einmal am Anfang aller Messungen eingerichteten Referenzoberfläche dargestellt wird. Der Meßtaster ist nicht starr mit dem Vorschubgerät verbunden, sondern hängt, mittels eines Gelenks mit einem Freiheitsgrad befestigt, frei herunter. Dadurch ändert sich natürlich mit jeder Veränderung des Höhenabstandes Vorschubgerät/Prüfkörper auch der Aufsetzpunkt der Diamantspitze auf der Meßstrecke.

Die Tastspitze hat einen Radius von $3\text{ }\mu\text{m}$, der Gesamtmeßbereich beträgt $250\text{ }\mu\text{m}$ bei einer Meßkraft von 10^{-4} N . Aufgrund der sehr feinen Tastspitze und des Meßbereiches zeigte sich während der Vorversuche, daß die zu erwartenden Veränderungen dargestellt und protokolliert werden konnten.

Zur Messung der Stärke einer Schicht bzw. eines Prüfkörpers bietet sich ein Dickentaster an.

Verwendet wurde das Langwegemeßgerät MILLITRON in Verbindung mit dem Meßtaster 1530. Der Meßweg des Tasters beträgt 30 mm , der Durchmesser der Tastkugel 3 mm . Der maximale Meßfehler liegt bei $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ unter einer Meßkraft von $0,6\text{ N} - 1\text{ N}$; der Meßtaster besitzt eine pneumatisch gedämpfte Absenkung. Dieses Meßgerät erwies sich während der Vorversuche als geeignet, sowohl die Schichtstärke von Stumpflacken als auch die Stärke der Platzhalterfolie zu ermitteln. Zur Vermessung der Prüfkörperstärke vor und nach der Bearbeitung wurde es als zweites Meßgerät neben dem PERTHOMETER eingesetzt.

Zur Messung eines Materialverlustes bietet sich eigentlich als Erstes eine Waage an. Da aber bei den zu erwartenden recht kleinen Verlusten zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten hier nur sehr kleine Gewichts-differenzen auftreten würden, wäre die Auswirkung etwaiger Fehler besonders groß. So würde sich jede Verunreinigung auf das Ergebnis auswirken.

Außerdem müßte eine Umrechnung des eingetretenen Verlustes auf die bearbeitete Fläche erfolgen, um eine Aussage über die Stärke der abgetragenen Schicht treffen zu können. Bei dieser Berechnung wäre es nicht möglich, die bei der Bearbeitung am Rand des Prüfkörpers auftretenden Fehler zu berücksichtigen. Die Vermeidung der Fehler am Rand aber ist, dies zeigte sich während der Vorversuche, mit herkömmlichen Bearbeitungsmethoden nicht möglich; immer wird der Schleifkörper und auch die Polierbürste am Rand eines Körpers mehr wegnehmen als von einer planen Fläche. Daher wurde auf die Verwendung einer Waage verzichtet.

2. Beschreibung der Prüfkörper

Form und Abmessung der Prüfkörper ergaben sich im Verlauf der Vorversuche. Da bei Ausarbeitung und Vermessung planer Flächen die Anzahl der Fehlerquellen geringer ist als bei gewölbten Flächen, mußten die Prüfkörper in Form einer Platte hergestellt werden; auch wären zur Vermessung gewölbter Flächen andere Meßgeräte erforderlich gewesen, die nicht zur Verfügung standen. Auf jedem Prüfkörper sollte nach der Bearbeitung eine nicht bearbeitete Fläche vorhanden sein, um bei der Messung mit dem Dicken-Taster Kontrollwerte für die Einrichtung des Prüfkörpers zu haben und im nach der Bearbeitung erstellten Perthogramm eine kleine Vergleichsstrecke zum nach dem Guß erstellten Pertho-

gramm zu sehen. Die beiden zu vergleichenden Strecken sind, wie sich in Vorversuchen zeigte, auch nach zehnmaliger Neueinrichtung des Prüfkörpers mittels Kreuztisch und Schraubzwinde identisch und an charakteristischen Strukturen erkennbar, was später bei der Beschreibung des Versuchsaufbaues näher erläutert wird. Jeder Prüfkörper wurde in drei Teilschritten bearbeitet, es entstanden durch teilweises Abdecken der vorhergehenden Bearbeitung vier verschiedene Plateaus, die sich im Perthogramm zeigten. Um für jede Bearbeitung zirka 4 mm Platz zu haben und eine ausreichend große Fläche unbearbeitet zu erhalten, wurden 16 mm lange Prüfkörper hergestellt. Die Prüfkörperbreite von 10 mm ergab sich aus dem Abstand der Kufe zum Meßtaster beim PERTHOMETER.

Dieser Abstand betrug 10 mm, also war die Herstellung eines breiteren Prüfkörpers wenig sinnvoll. Die Stärke von 1 mm ergab sich aus der Länge und damit der Verbiegungsgefahr dünnerer Wachsplatten beim Einbetten sowie dünnerer Metallplatten beim Bearbeiten.

Die Wachsmodelle der Prüfkörper wurden aus grünen Gußwachsplatten der Stärke 1 mm geschnitten; hierbei diente eine Plexiglasplatte der Größe 10 mm x 16 mm als Original und Schnittschablone und verhinderte gleichzeitig ein Aufwerfen der Schnittkanten. Vor dem Anbringen des Gußstiftes in einer Prüfkörperecke wurden die Wachsplatten zwischen zwei Glasanmischplatten leicht gepreßt, dadurch wurden eventuelle Verbiegungen rück-

gänglich gemacht. In jede Muffel kamen 5 Modelle 16x10x1 (LxBxH in mm) sowie ein Modell 10x10x1 zur Dokumentation des Aussehens der Prüfkörper nach dem Guß.

3. Beschreibung der Versuchsaufbauten

Um die beim Ausarbeiten und Polieren eines gegossenen Prüfkörpers auftretenden Verluste in Bezug auf seine Stärke exakt feststellen zu können, mußten einige Voraussetzungen erfüllt werden. Im Rahmen der Vorversuche mit Phantommetall zeigte sich, daß es nicht möglich war, gegossene Prüfkörper mit überall gleicher Stärke herzustellen; eine Manipulation war aber nach dem Gießen zumindest an einer Fläche der Prüfkörper nicht möglich, da ja die gegossene Oberfläche als Ausgangssituation vorhanden sein mußte. Daraus erfolgte, daß ein Versuchsaufbau nötig war, der es möglich machte, die Prüfkörper vor und nach der Bearbeitung an exakt der gleichen Stelle zu vermessen und der eine normale Bearbeitung der Prüfkörper zwischen diesen beiden Messungen nicht behinderte. Da die Prüfkörper auch nach dem Guß rechteckig waren, wurde auf einer 20 mm starken Plexiglasplatte ein rechter Winkel aus zwei Objektträgern aufgeklebt; hier sollten die Prüfkörper fest anliegen. Ein zweiter, beweglicher Winkel zur Fixierung der Prüfkörper war nur bei der Messung mit dem PERTHOMETER nötig, da sich während der Vorversuche zeigte, daß die sich entlang der Meßstrecke bewegendende Diamantspitze

einen Prüfkörper mit rauher Oberfläche mitziehen bzw. wegschieben konnte. Daher wurde für die Perthometermessung ein zweiter Winkel aus Objektträgern fest mit einer kleinen Schraubzwinge verklebt; die Winkelschenkel hatten die Länge 9 mm und 15 mm, sodaß jeder Prüfkörper fest an den auf der Plexiglasplatte fixierten Winkel angelegt und unverrückbar befestigt werden konnte. Die Plexiglasplatte wurde auf einem Kreutztisch mit 1/10 mm-Einteilung befestigt, der Kreutztisch selbst war mit dem PERTHOMETER fest verbunden. Es zeigte sich während der Vorversuche, daß mit Hilfe dieser Einrichtvorrichtung die Prüfkörper immer exakt reponiert und die auf dem Prüfkörper liegenden Meßstrecken beliebig oft neu eingestellt und abgefahren werden konnten; sie waren, wie schon erwähnt, immer identisch. Schon 0,1 mm rechts und links der Meßstrecke zeigte die Oberfläche ein qualitativ anderes Aussehen im Perthogramm, doch war die quantitative Auswertung ähnlich.

Für die Messung mit dem Dickentaster MILLITRON wurde ein Kreutztisch am Meßständer befestigt; die Einrichtvorrichtung war bis auf den beweglichen Winkel identisch mit der schon beschriebenen. Da der Meßbolzen nach jeder Messung gehoben und pneumatisch gedämpft wieder abgesenkt werden kann, ist hier eine weitere Fixierung des Prüfkörpers nicht nötig; auf ihn wirken keine Schubkräfte ein.

Alle Meßwerte werden in Bezug zu einem Nullpunkt angegeben, daher wurde dieser Punkt auf einem der Objektträger neben der Prüfkörperauflagefläche festgelegt; er konnte vor und nach jeder Messung des Kreutztisches exakt eingestellt und kontrolliert bzw. für die Messung vorher elektrisch korrigiert werden.

Zur Durchführung der Perthometermessungen war eine Referenzoberfläche für die parallel zur Diamantspitze gleitende Kufe nötig. Schon während der Vorversuche hatte sich gezeigt, daß eine Referenzoberfläche im Prüfkörper selbst nicht nur einen wesentlich breiteren Prüfkörper, sondern auch einen sehr hohen technischen Aufwand zur Erreichung einer ebenen und glatten Referenzoberfläche, die möglichst geläppt sein sollte, nötig machen würde. Daher wurde eine außerhalb des Prüfkörpers liegende Glasoberfläche als Referenz gewählt; diese Glasoberfläche befand sich in Form der aufgeklebten Objektträger unmittelbar neben der Prüfkörperauflagefläche. Um ein Aufsetzen des frei hängenden Aufnehmers bzw. der darin befindlichen Diamantspitze jeweils am gleichen Anfangspunkt der Meßstrecke vor und nach der Bearbeitung zu gewährleisten, wurde ein kleiner Anschlag für die Kufe auf der Referenzfläche befestigt. Der Beginn der Meßstrecke lag genau dort, wo die Kufe diesen Anschlag gerade eben berührte.



Abb. 1. : Versuchsaufbau für die PERTHOMETER-Messungen

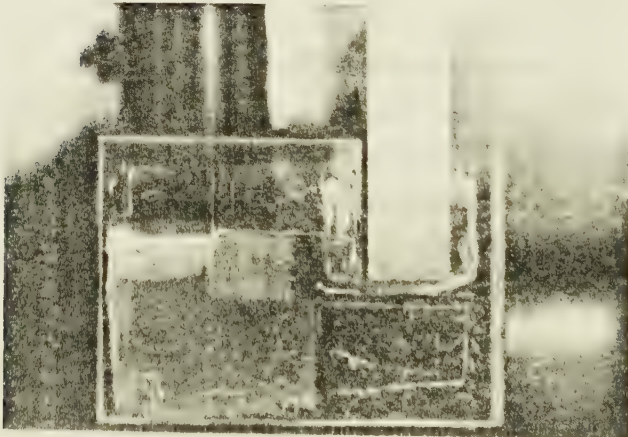


Abb. 2. : Einrichtvorrichtung mit einem eingespannten, schon bearbeiteten Prüfkörper

Für die Messung der Folienstärke bzw. der Schichtstärke der Stumpflacke waren keine besonderen Vorrichtungen erforderlich. Die Folien wurden direkt vermessen, die Stumpflacke wurden auf Objektträger aufgetragen, wobei dann der Nullpunkt jeweils auf dem Objektträger angeglichen und dann in Bezug hierzu gemessen wurde. Da der Meßbolzen starr am Meßstativ befestigt ist, wurde für die Einzelmessungen der Objektträger bzw. die Folie von Hand verschoben.

4. Untersuchte Legierungen, Platzhalterfolie und Stumpflacke

4.1. Untersuchte Legierungen

Für die Untersuchung des bei Ausarbeitung und Politur auftretenden Materialverlustes wurden 5 Dentallegierungen untersucht :

1. DEGULOR A, hochgoldhaltige Legierung, Typ I
2. DEGULOR M, hochgoldhaltige Legierung, Typ IV
3. PALLIAG M, Ag-Pd-Legierung, extrahart
4. VITALLIUM, Co-Cr-Mo-Legierung
5. CERAL, edelmetallfreie, hochnickelhaltige Aufbrennlegierung

Von jeder dieser Legierungen wurden 10 Prüfkörper gegossen. Die Einbettung erfolgte für Degulor A, M und Palliag mit Deguvest-soft, angerührt mit Multivac 4; gegossen wurden je 5 Prüfkörper pro Legierung mit der Tiegelschleuder TS 3 der Firma DEGUSSA und 5 Prüfkörper mit dem Vakuum-Druckgieß-Gerät Prestomat B 1 der Firma DEGUSSA. Die Prüfkörper aus Vitallium und Ceral wurden in einem gewerblichen zahntechnischen Labor eingebettet und gegossen. ** Bei Vitallium erfolgte die Einbettung mit VR-Investment for Vitallium (HOWMEDICA), bei Ceral mit Ceramigold investment (WHIP MIX CORPORATION); gegossen wurden beide Legierungen mit einer Hochfrequenz-Gießanlage.

4.2. Untersuchte Platzhalterfolie

Es wurde die Platzhalterfolie des Adapta-Systems der Firma BEGO untersucht; sie hat eine Stärke von 0,1 mm und soll nach Angaben der Firma BEGO nach dem Tiefziehen ca. die Hälfte dieser Stärke, also 0,05 mm haben.

Zehn Folien wurden mittels des Handgerätes zusammen mit der zugehörigen Trägerfolie an einen mit Hohlkehlpräparation versehenen Frasaco-Zahn 46 adaptiert, von jedem entsprechend zugeschnittenen Platzhalterfolienkäppchen wurden anschließend 10 Werte im Bereich der Stumpfwandun-

** ich danke dem Dental-Labor Wilh. KIMMEL GmbH, Mainz
für die freundliche Unterstützung

gen gemessen, da sich zeigte, daß okklusal die Platzhalterfolie ihre Stärke von ca. 0,1 mm beibehielt.

4.3. Untersuchte Stumpflacke

Vermessen wurde die Schichtdicke von 5 Stumpflacken; zum Vergleich wurde ein handelsüblicher Nagellack untersucht. Dieser Nagellack ist eingefärbt, da bei farblosem Nagellack nicht beurteilt werden kann, ob der Lack deckend aufgetragen wurde; außerdem ist die Handhabung eines farbigen Lackes in Bezug auf die Verarbeitung einfacher.

1. Eura-Dental Stumpflack
2. Silber-Metall-Lack 2000 (BEGO)
3. Die-Spacer-Stumpflack
4. Almadent - Stumpflack "silber"
5. Almadent-Stumpflack "gold"
6. Nagellack 29 "mandarin" Jean Pierre, Bad König

Die einzelnen Stumpflacke wurden auf je 10 Objektträger aufgetragen; gemessen wurden 70 Stunden später auf jedem Objektträger 10 Werte an solchen Stellen, an denen der Stumpflack deckend aufgetragen war sowie einzelne Maximalwerte an Stellen, wo die Schicht durch Auf- und Absetzen des Pinsels sowie neben der Pinselspur dicker war.

5. Prüfkörper vor der Bearbeitung

Zur Vermessung der Prüfkörper vor der Bearbeitung wurden die Gußkanäle abgetrennt, die Gußkanalansätze verschliffen und selten vorhandene größere Gußperlen entfernt. Anschließend wurde zum Erreichen einer glatten Auflage auf den Einrichtvorrichtungen eine Seite der Prüfkörper von Hand mit auf einer Glasplatte fixiertem Feinschmirgelpapier Nr. 600 abgezogen. Danach erfolgten die Messungen.

5.1. Perthometermessungen

Auf jedem Prüfkörper wurden 5 Meßstrecken abgefahren und aufgezeichnet, der Abstand der Strecken betrug 0,5 mm, die Länge jeweils 15 mm; die Verschiebungen des Prüfkörpers um jeweils 0,5 mm erfolgten mit Hilfe des Kreuztisches.

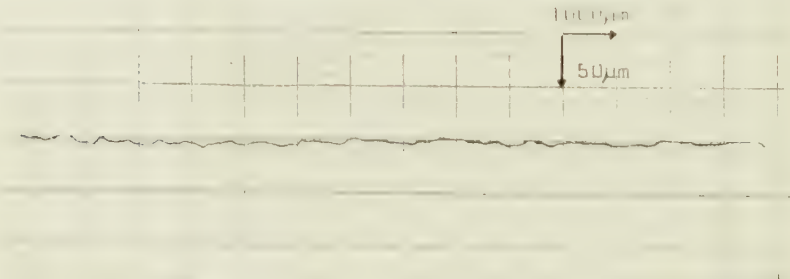


Abb. 3. : Perthogramm einer Meßstrecke eines Prüfkörpers aus
PALLIAC M vor der Bearbeitung

5.2 Messungen mit Dickentaster Millitron

Es wurden auf jedem Prüfkörper 20 Punkte in Bezug zum Nullpunkt vermessen. Die Punkte befanden sich auf vier parallel zueinander verlaufenden Linien, welche etwa in der Mitte der späteren Bearbeitungsflächen lagen. Der Abstand der Meßpunkte voneinander auf dieser Linie betrug 1,5 mm. Die Prüfkörperverschiebungen erfolgten in beiden Richtungen mit Hilfe des Kreuztisches. Nach jedem Prüfkörper wurde der Nullpunkt kontrolliert.

keine Bearbeitung "Null"	spätere Bearbeitung I	spätere Bearbeitung II	spätere Bearbeitung III	
1	10	11	20	+ 1,5 mm ↓
2	9	12	19	
3	8	13	18	
4	7	14	17	
5	6	15	16	

+ — 4 mm — +

Abb. 4 : Schematische Darstellung der Meßpunkte an einem Prüfkörper

6. Bearbeitungsverfahren

Von jeder Legierung wurden 5 Prüfkörper von Hand und 5 Prüfkörper mittels Strahl- und Glänzgeräten bearbeitet.

6.1. Bearbeitung von Hand

Die Bearbeitung von Hand erfolgte mit dem Handstück des Gerätes KaVo K 9 mit stufenloser Drehzahlregelung zwischen 5000 min^{-1} und 25000 min^{-1} . Auf das Grobschleifen konnte aufgrund der glatten Prüfkörperoberfläche verzichtet werden, die Bearbeitung wurde mit Feinschleifen begonnen. Nach jedem Bearbeitungsschritt wurden die Prüfkörper von Schleifmittelresten gereinigt, die Polierpastenreste wurden jeweils mit Chloroform entfernt. Für alle untersuchten Legierungen wurde der Meisinger-Schleifkörper Nr. 732 aus hellbraunem Edelkorund verwendet. Er ist zylindrisch, 13 mm lang und hat einen Durchmesser von 6,5 mm. Die Korngröße wird mit $150 \mu\text{m}$ angegeben. Die Richtdrehzahl liegt zwischen 19000 min^{-1} und 38000 min^{-1} . Dieser Schleifkörper wurde gewählt, da er für alle Legierungen geeignet war und außerdem die sehr feine Korngröße hatte, die zum Feinschleifen nötig ist. Für jeden Prüfkörper wurde ein neuer Schleifkörper verwendet, um Fehler durch Abnutzung des Schleifkörpers weitestgehend auszuschalten. Mit diesem Schleifkörper wurde eine Fläche von 12 mm x 10 mm verschliffen; die

Schleifspuren verliefen senkrecht zur Längsachse des Prüfkörpers, da sonst die Diamantspitze des PERTHOMETERS entlang der durch das Korn bedingten Rillen läuft und so ein falsches Bild der Oberfläche wiedergibt. Die bearbeitete Fläche hatte am Ende des Schleifvorganges ein gleichmäßiges Aussehen und wies nur Rillen senkrecht zur Längsachse des Prüfkörpers auf; einzelne tiefe Lunker blieben unberücksichtigt. Um den Prüfkörper eine feste Auflage zu geben und ihn besser fixieren zu können, wurde er während der Bearbeitung in eine aus Paladur hergestellte Form eingepaßt und dort mit dem Daumen der linken Hand festgehalten; mit Hilfe eines auf den Prüfkörper aufgelegten Deckglases wurde die jeweils nicht zu bearbeiten- de Fläche abgedeckt und so vor Bearbeitung geschützt. Beim Schleifen wurde keine nennenswerte Wärmeentwicklung festgestellt, da die Schleifkörper jeweils neu und somit scharf waren und außerdem ohne starken Druck gearbeitet wurde.

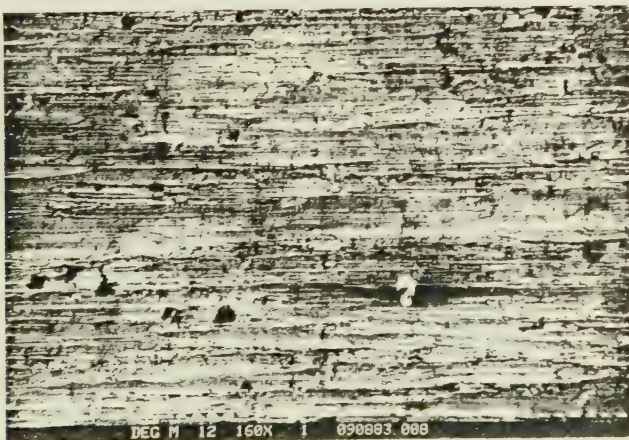


Abb. 5 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus DEGULOR M nach dem Feinschleifen, REM-Vergrößerung 160 : 1; 1 cm entspricht 65 μm

Anschließend an dieses Feinschleifen erfolgte das Feinstschleifen mit Hilfe des montierten, zylindrischen AABA-Dental Universal-Polierers HD 52, 10 mm lang, Durchmesser 5,2 mm. Dieser Polierer wurde für die Prüfkörper aus Degulor A, M und Palliag M verwendet. Für die Prüfkörper aus Vitallium und Ceral wurde ein auf einem Schraubmandrell befestigter Spezialpoliergummi der Firma RENFERT, die Walze Nr. 64 mit 24 mm Länge und 6 mm Durchmesser, verwendet. Die Drehzahlen für diese elastischen Schleifkörper liegen bei maximal 20000min^{-1} , die Bearbeitung erfolgte, soweit dies zu verwirklichen war, gemäß der Gebrauchsanleitung drucklos. Die so entlang der Längsachse des Prüfkörpers vorpolierte - vorher schon feingeschliffene - Fläche hatte eine Länge von 8 mm und zeigte nach der Bearbeitung eine gleichmäßige Rillenstruktur. Die Spuren des vorher verwendeten Schleifkörpers waren dann verschwunden.



Abb. 6 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus DEGULOR M nach dem Feinstschleifen, REM-Vergrößerung 160:1; 1 cm entspricht 65 μm

Als letzter Bearbeitungsschritt erfolgte jetzt die Politur mit Hilfe einer Filzscheibe von 21 mm Durchmesser und 7 mm Stärke, welche auf einem Mandrell befestigt wurde. Poliert wurde unter Verwendung der gelben Polierpaste der Firma DEGUSSA senkrecht zur Längsachse der Prüfkörper so lange, bis die Spuren des Gummipolierers verschwunden waren. Es entstand eine 4 mm breite Fläche mit kaum noch sichtbaren Rillen, welche mit Hilfe grüner Polierpaste der Firma DEGUSSA unter Verwendung einer zweiten Filzscheibe gleicher Abmessungen solange weiterpoliert wurde, bis sich mit einer Lederschwabbel und Pariser Rot Hochglanz erzeugen ließ.

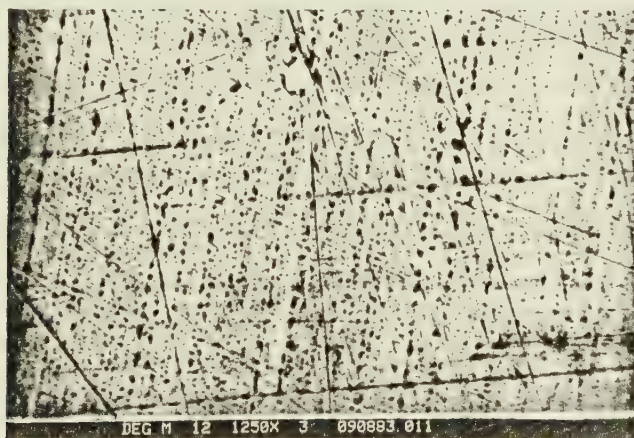


Abb. 7 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus DEGULATOR M nach der Hochglanzpolitur, REM-Vergrößerung 1250:1;
1 cm entspricht 8 μ m

Verwendete Drehzahlen :

LEGIERUNG	SCHLEIFKÖRPER	POLIERGUMMI	FILZSCHEIBE
DEGULOR A	20000 min ⁻¹	15000 min ⁻¹	5000 min ⁻¹
DEGULOR M	25000 min ⁻¹	15000 min ⁻¹	5000 min ⁻¹
PALLIAG M	25000 min ⁻¹	15000 min ⁻¹	5000 min ⁻¹
VITALLIUM	25000 min ⁻¹	15000 min ⁻¹	10000min ⁻¹
CERAL	25000 min ⁻¹	15000 min ⁻¹	10000min ⁻¹

Die Drehzahlen beim Hochglanzpolieren mit der Lederschwabbel betragen für Degulor A und M 10000 min⁻¹, für Palliag M, Vitallium und Ceral 15000 min⁻¹.

Während der Politur mit der Filzscheibe konnten, wenn der Prüfkörper wegen der Erwärmung nicht mehr mit dem Daumen fixiert werden konnte, mit Hilfe des Meßgerätes Bailey Model BAT 8 Temperaturen von mehr als 90°C am Prüfkörper gemessen werden; es mußten immer wieder Abkühlungspausen eingelegt werden.

In der Teleskopkronentechnik wird zur Erzielung einer definierten Friktion der Degussit-Feinschleifstift eingesetzt. Durch Vorbehandlung der gegossenen Oberfläche des Innenteleskopes, der Patrize, mit einer feinen Metallfräse wird eine plane Oberfläche geschaffen, wobei durch Verwendung eines Fräsgerätes parallele oder leicht konische Außenwände der Patrize resultieren. Der jetzt eingesetzte Degussit-Feinschleifstift dient nicht mehr der Formgebung, sondern nur der Erzeugung einer Oberfläche mit definierter Rauigkeit und

damit einer definierten Friktion. Zur Ermittlung der hierdurch resultierenden mittleren Rauhtiefe sowie des Materialabtrages wurden zwei Prüfkörper der Größe 10 x 10 mm aus Degulor M an einer in Superhartgips eingegossenen Metallplatte befestigt. Dieser Superhartgipsblock wurde im Sockel eines Fräsgerätes befestigt. Nach Ausrichten der Prüfkörperoberfläche parallel zum Fräsarm und damit parallel zur Oberfläche der Metallfräse bzw. des Degussit-Feinschleifstiftes, erfolgte die Prüfkörperoberflächenvorbereitung mit der Metallfräse und anschließend die Bearbeitung mit dem Degussit-Feinschleifstift. Die Drehzahlen betrugen für die Metallfräse $60\,000\text{min}^{-1}$, für den Degussit-Feinschleifstift $30\,000\text{min}^{-1}$, die Kühlung erfolgte mit oleum cajeputi EB 6 rectific.

Da die gesamte Prüfkörperoberfläche bearbeitet wurde, wurden die Prüfkörper jeweils nach der Bearbeitung mit der Metallfräse und mit dem Degussit-Feinschleifstift vermessen. Für die Messung mit dem Dickentaster diente dabei jeweils der gemessene Wert als Nullwert der Messung nach der nächsten Bearbeitung.

6.2. Ausarbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten

Die Ausarbeitung mit dem Sandstrahlgerät erfolgte auf einer Fläche von 12 mm x 10 mm, die unberührte Fläche wurde mit Klebeband geschützt. Der Abstand betrug ca. 8 cm zur Düse bei senkrechtem Auftreffen des Strahlmittels auf die Prüfkörperoberfläche.

Die Prüfkörper aus Degulor A und M, Palliag M und Ceral wurden ca. 15 s lang einzeln unter Sicht mit "Alox 110", einem Edelkorundstrahlmittel der Firma BEGO mit einer mittleren Korngröße von 110 μ m, im Sandstrahlgerät BEGO MINIKOR bei 4 - 5 bar abgestrahlt. Hierbei wurden die Prüfkörper aus Degulor A offensichtlich leicht deformiert, obwohl sie während des Abstrahlvorganges auf der Kuppe des Zeigefingers ruhten. Sowohl im Perthogramm als auch bei der Dickentastermessung zeigten sich nach der Bearbeitung Veränderungen der Nullstrecken bzw. -werte. Eine andere Erklärung als eine leichte Verbiegung der Prüfkörper konnte nicht gefunden werden, zumal alle anderen Legierungen solche Veränderungen nicht zeigten. Es wurden daher 5 neue Prüfkörper aus Degulor A hergestellt und vor dem Abstrahlen auf einer Glasanmischplatte befestigt. Die Vermessung zeigte danach keine Abweichungen der Nullwerte und -strecken. Die Prüfkörper aus Vitallium wurden im AUER Sandstrahlgerät Modell ST 700 D bei 8 bar mit dem Strahlmittel NK II 90 der Eisenwerke WÜRTH, einem Normalkorundstrahlmittel der Korn-

größe $149\text{ }\mu\text{m}$ - $177\text{ }\mu\text{m}$ (nach FEPA-Norm), ca. 15 s unter Sicht abgestrahlt. Um die beim Sandstrahlen auftretende Aufrauhung der Oberfläche weiter untersuchen zu können, wurde ein Prüfkörper der Größe $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ aus Degulor A 60 s lang abgestrahlt, wobei der Strahl ebenfalls senkrecht auftraf. Anschließend wurde dieser Prüfkörper vermessen und zusammen mit einem weiteren $10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ großen Prüfkörper aus Degulor A, welcher unbehandelt war, für 60 s im Winkel von 45° abgestrahlt.

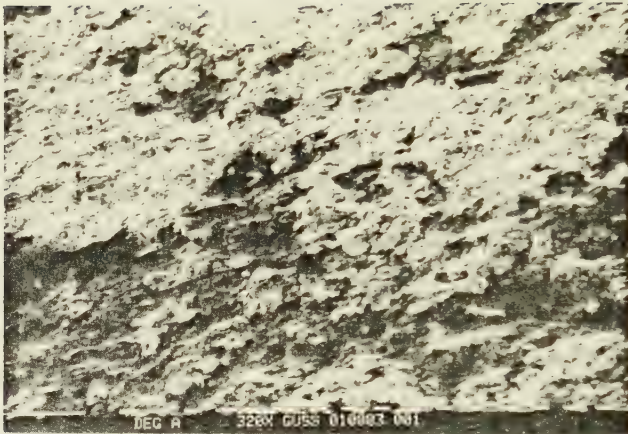


Abb. 8 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus Degulor A nach dem Guß, REM-Vergrößerung 320:1; 1 cm entspricht 31 μ m



Abb. 9 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus Degulor A nach dem Sandstrahlen im Winkel von 90°, man erkennt deutlich die aufgeworfene Oberfläche. REM-Vergrößerung 320:1; 1 cm entspricht 31 μ m

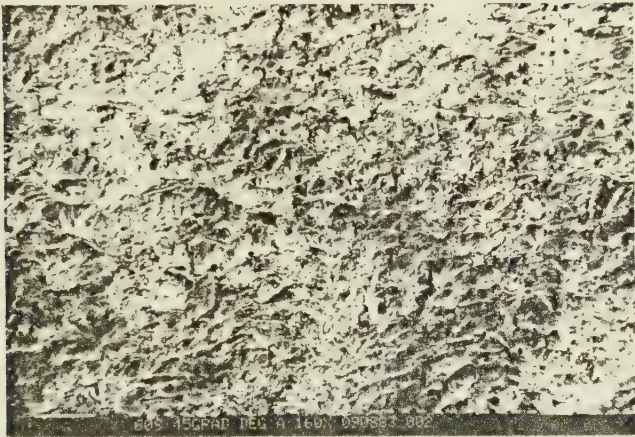


Abb. 10 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus Degulor A nach dem Sandstrahlen im Winkel von 45° ; man erkennt, daß jetzt die Struktur der Oberfläche entlang der Diagonalen von rechts oben nach links unten ausgerichtet ist, was einer Ausrichtung in Abstrahlrichtung entspricht. REM-Vergrößerung 160 : 1; 1 cm entspricht 65 μm

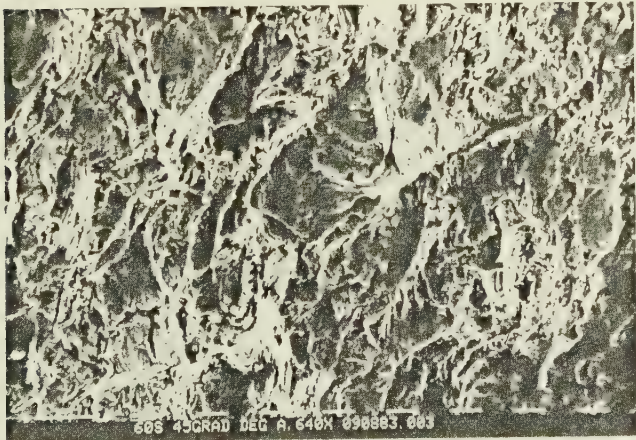


Abb. 11 : REM-Abbildung eines Ausschnittes der Oberfläche aus Abbildung 10, REM-Vergrößerung 640 : 1; 1 cm entspricht 15,7 μm

Das Glanzstrahlen erfolgte für die Legierungen Degulor A und M, Palliag M und Ceral mit Perlablast, einem Glanzstrahlmittel der Firma BEGO aus bleifreiem Natronglas mit der Korngröße $125\text{ }\mu\text{m}$ im Glanzstrahlgerät BEGO Minipol bei 4,5 bar für 20 s. Die Prüfkörper zeigten anschließend eine $8 \times 10\text{ mm}$ große, glänzende Fläche, der Rest der Prüfkörperoberfläche war wiederum mit Klebeband abgedeckt gewesen. Die Prüfkörper aus Vitallium wurden im Strahlgerät GUYSON Model 250/20 AD bei 8 bar mit Ballotini Glas-Strahlperlen MGL No. 2, einem bleifreien Natronglas-Strahlmittel der Eisenwerke WÜRTH mit einer Korngröße von $250\text{--}420\text{ }\mu\text{m}$ für 20 s abgestrahlt. Auch hier entstand durch Abdeckung mit Klebeband eine $8 \times 10\text{ mm}$ große glänzende Fläche. Der Abstand der Prüfkörper von der Düse betrug etwa 8 cm, das Glanzstrahlmittel traf senkrecht auf die Prüfkörper auf.



Abb. 12 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus Degulor A nach dem Glanzstrahlen, REM-Vergrößerung $320 : 1$; 1 cm entspricht $31\text{ }\mu\text{m}$

Anschließend wurden die Prüfkörper aus Degulor A und M, Palliag M und Ceral für 4 min. im Goldglänzgerät 2 der Firma DEGUSSA elektrolytisch gegläntzt, wobei eine Fläche von 4×10 mm in Kontakt mit der Glänzflüssigkeit trat, während der Rest des Prüfkörpers mit Nagellack geschützt war. Die Anodenhaken wurden auf der zu glänzenden Fläche aufgesetzt, die Stromstärke wurde gemäß der Arbeitsanleitung für jeden Prüfkörper neu eingestellt und lag bei etwa 1 A.

Die Prüfkörper aus Vitallium wurden in einem Spezialglänzgerät für Co-Cr-Mo-Legierungen bei 0,4 A für 6 min. gegläntzt. Auch hier wurde eine Fläche von 4×10 mm in Kontakt mit dem Glänzbad gebracht, während der Rest des Prüfkörpers mit Lack geschützt war.

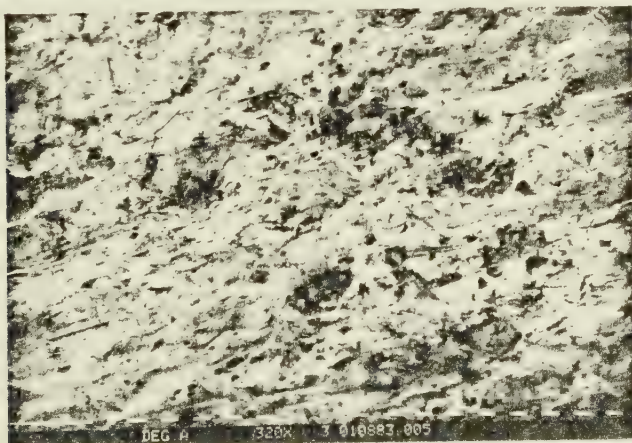


Abb. 13 : REM-Abbildung der Oberfläche eines Prüfkörpers aus Degulor A nach dem elektrolytischen Glänzen, REM-Vergrößerung 320 : 1; 1 cm entspricht $31 \mu\text{m}$

7. Prüfkörper nach der Bearbeitung

Die Vermessung der Prüfkörper nach der Bearbeitung erfolgte beim PERTHOMETER auf den gleichen Meßstrecken wie vor der Bearbeitung, dies war durch den Versuchsaufbau gewährleistet.

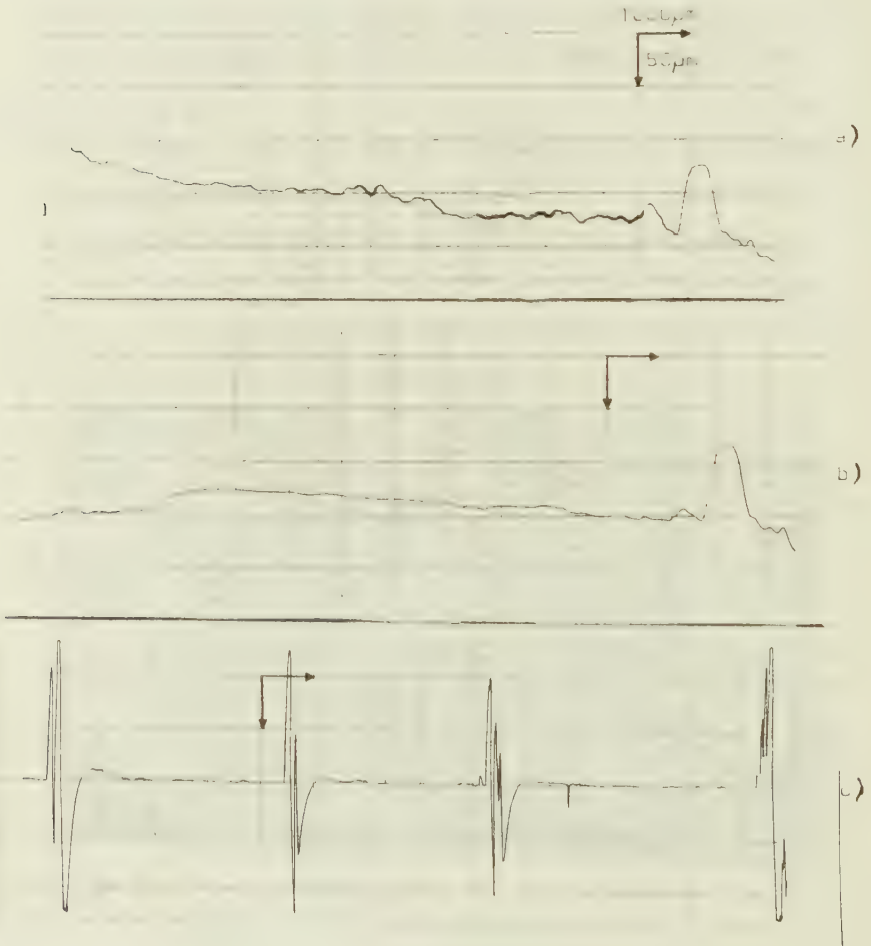


Abb. 14 : Meßstrecken auf einem Vitallium-Prüfkörper
(Erläuterungen siehe Text)

Die Abbildung 14a zeigt die Meßstrecke des unbearbeiteten Prüfkörpers Nr. 35. Auf Abbildung 14b sieht man dieselbe Meßstrecke nach der Bearbeitung mit den Strahl- und Glänzgeräten (b); deutlich ist das identische Aussehen der Vergleichsstrecke rechts im Perthogramm zu erkennen. Darunter (c) befindet sich das Perthogramm des Originalprüfkörpers aus Plexiglas mit Markierungslinien der Meßpunkte für die Dickentastermessungen.

8. Auswertung der Meßwerte und Perthogramme

Zur Ermittlung des Materialverlustes in Bezug auf die Stärke der Prüfkörper wurden die Meßwerte der Dickentastermessungen verwendet. Die Perthogramme dienten der Überprüfung der Ergebnisse anhand einer mittels des in Bild Nr. 11 gezeigten Perthogramms des Originalprüfkörpers hergestellten Schablone. Die Überprüfung erfolgte durch Vermessung der vertikalen Abstände der im Perthogramm aufgezeichneten Linie von der Mittellinie im Nullbereich und im Bereich der jeweiligen Bearbeitung. Die Werte vor und nach der Bearbeitung wurden miteinander verglichen und entsprechend umgerechnet. Es zeigte sich, daß die mit der Dickentastermessung ermittelten Werte mit den im Perthogramm abzulesenden Werten weitgehend übereinstimmten. Bei der Auswertung der Dickentastermessungen ergaben sich folgende Fehler, die zum Ausschluß des jeweiligen Meßwertes führten :

1. Meßpunkte lagen im Randbereich des Prüfkörpers.
Dort waren wesentlich stärkere Abträge zu beobachten als auf der planen Fläche (29x)
2. Meßpunkte lagen vor der Bearbeitung auf einer kleinen Gußperle. Dadurch war nach der Bearbeitung der ermittelte Abtrag wesentlich größer als in unmittelbarer Nähe des Meßpunktes, dieser Fehler trat nur bei den Vitallium-Prüfkörpern auf, die eine sehr raue Oberfläche hatten (13x)
3. Meßwerte zeigten nach der Auswertung physikalisch nicht erklärbare Dickenzunahmen des Prüfkörpers nach der Bearbeitung (10x)
4. Meßpunkte lagen nach der Bearbeitung genau auf dem Ansatzpunkt der Elektrode und zeigten damit zu geringen Abtrag an (4x).

Bei der Gesamtzahl von 2000 Meßwerten, die zur Auswertung zur Verfügung standen, betrug die Ausschlußnote 2,8% aller Meßwerte oder 5,6% der ausgewerteten Meßwertpaare.

Die Auswertung erfolgte durch direkten Vergleich der Werte vor und nach der Bearbeitung im Meßpunkt; es ergaben sich Differenzen, welche dem Abtrag entsprachen. Die je 5 zu einer Bearbeitung gehörenden Werte wurden nun zur Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung herangezogen. Hierbei zeigte sich, daß sowohl die Ausarbeitung von Hand als auch die Ausarbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten stark streuende Abträge ergab.

Daher wurden nicht nur die Mittelwerte aus den Abträgen der einzelnen Prüfkörper, sondern auch jeweils minimaler und maximaler Abtrag einer Bearbeitungsart angegeben. Aus der Differenz der Abträge zwischen den einzelnen Bearbeitungsschritten ergab sich der jeweilige Abtrag für eine Bearbeitungsart.

9. Auswertung der Stumpflack- und Platzhalterfolienmessungen

Von jedem Objektträger lagen 10 Meßwerte vor, diese wurden zur Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung verwendet. Danach wurde der Mittelwert der Gesamtmessung aus diesen Einzelmittelwerten berechnet. Die 10 Maximalwerte sowie etwa 10 der Tabelle entnommene Minimalwerte wurden ebenfalls zur Berechnung von Mittelwert und Standardabweichung verwendet. Die Minimalwerte wurden der Tabelle entnommen, da sie an Stellen gemessen waren, an denen der Lack deckend aufgetragen war. Die Maximalwerte dagegen traten dort auf, wo der Lack zu dick aufgetragen war, weswegen diese Werte nicht in den Tabellen auftauchen. Es ergaben sich so für jeden Stumpflack sowie für die Platzhalterfolie der Mittelwert der Gesamtmessung, der Mittelwert der Minimalwerte und der der Maximalwerte.

10. Ergebnisse

10.1 Materialverlust bei Ausarbeitung und Politur

BEARBEITUNG VON HAND (ABTRAG IN μm)

Legierung	Abweichung Nullwerte	Bearb. I	Bearb. II	Bearb. III	Gesamt- Abtrag
Degulor A	$1,3 \pm 1,1$	-8,0	-6,0	-8,5	-21,2(Mittel) -17,2(min) -27,4(max)
Degulor M	$-0,12 \pm 2,3$	-4,5	-10,8	-16,6	-32,0(Mittel) -22,5(min) -38,0(max)
Palliag M	$0,6 \pm 1,4$	-9,0	-7,0	-27,6	-43,0(Mittel) -20,4(min) -73,2(max)
Vitallium	$-0,04 \pm 1,7$	-50,2	-12,6	-26,0	-88,8(Mittel) -67,2(min) -114,0(max)
Ceral	$-0,1 \pm 0,9$	-13,1	-9,0	-17,1	-39,3(Mittel) -21,2(min) -66,8

Bearbeitung I : Feinschleifen mit Schleifkörper

Bearbeitung II : Feinstschleifen mit Gummipolierer

Bearbeitung III : Politur mit Filzscheibe und Paste

BEARBEITUNG MIT STRAHL- UND GLÄNZGERÄTEN (ABTRAG IN μm)

Legierung	Abweichung Nullwerte	Bearb. I	Bearb. II	Bearb. III	Gesamt- Abtrag
Degulor A	$-1,6 \pm 2,8$	+19,4	+36,8	-128,0	-73,4(Mittel) -51,2(min) -137,4(max)
Degulor M	$-0,2 \pm 0,9$	-1,8	-2,6	-135,6	-140,2(Mittel) -124,0(min) -155,0(max)
Pallilag M	$1,2 \pm 2,5$	+4,7	-0,3	-73,6	-78,0(Mittel) -44,2(min) -100,8(max)
Vitallium	$0,4 \pm 2,4$	-26,1	-26,5	-25,6	-77,8(Mittel) -58,0(min) -183,0(max)
Ceral	$2,3 \pm 1,4$	-0,1	-6,0	-11,7	-15,9(Mittel) -12,2(min) -19,6(max)

Bearbeitung I : Sandstrahlen

Bearbeitung II : Glanzstrahlen

Bearbeitung III : elektrolytisches Glänzen

Bei den zusätzlichen Versuchen mit Degulor A-Prüfkörpern
ergaben sich folgende Werte :

- Sandstrahlen 60 s im Winkel von 90° : +73,8 μm
- Sandstrahlen 60 s im Winkel von 45° : -19,0 μm
- Sandstrahlen 60 s im Winkel von 90°
und 60 s im Winkel von 45° : -20,5 μm

10.2 Stärke der Platzhalterfolie des Adapta-Systems

- Mittelwert der Messungen: $47,1 \pm 6,8 \mu\text{m}$
- Mittelwert der Maxima : $76,6 \pm 5,1 \mu\text{m}$
- Mittelwert der Minima : $27,5 \pm 3,9 \mu\text{m}$

10.3 Schichtstärke der Stumpflacke (in μm)

Stumpflack	Mittelwert d. Messung	Mittelwert d. Maxima	Mittelwert d. Minima
Eura-Dental	$21,8 \pm 5,5$	$37,0 \pm 11,6$	$11,6 \pm 1,5$
Silber-Met. Lack 2000	$19,7 \pm 3,4$	$27,8 \pm 1,1$	$11,9 \pm 1,1$
Die-Spacer	$26,1 \pm 8,6$	$45,2 \pm 4,0$	$11,9 \pm 1,0$
Almadent "silber"	$6,7 \pm 1,9$	$21,8 \pm 2,8$	$3,8 \pm 0,4$
Almadent "gold"	$8,8 \pm 1,2$	$40,3 \pm 1,8$	$5,9 \pm 0,4$
3x"silber" + 1x"gold"	$32,4 \pm 3,0$	$61,8 \pm 12,0$	$24,3 \pm 1,3$
Nagellack	$39,9 \pm 2,8$	$55,4 \pm 3,9$	$31,1 \pm 2,0$

Die Stumpflacke Almadent "silber" und "gold" wurden in der oben beschriebenen Weise (3x "silber" und 1x "gold") aufgetragen und vermessen, da lt. Arbeitsanweisung so eine Schichtstärke von $25 \mu\text{m}$ erreicht werden kann.

10.4 Bearbeitung mit Metallfräse und Degussit-Feinschleifstift

Abtrag bei Bearbeitung mit Metallfräse (in μm) :

$$125,6 \pm 49,4$$

Abtrag bei Bearbeitung mit Degussit-Feinschleifstift (in μm)

$$5,4 \pm 1,4$$

Es ergab sich nach der Bearbeitung mit Metallfräse und Degussit-Feinschleifstift eine mittlere Rauhtiefe R_t von $4,3 \mu\text{m}$.

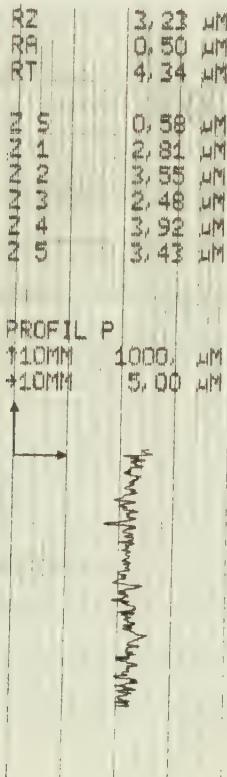


Abb. 15 : Profil eines Prüfkörpers aus Degulor M nach der Bearbeitung mit Metallfräse und Degussit-Feinschleifstift

IV. DISKUSSION

Bei der Bearbeitung von Hand, zeigte sich, daß - abgesehen von Gußperlen und Gußkanalansatz - beim Feinschleifen nur geringe Materialverluste auftreten; die abgetragene Schicht ist zwischen $4,5\text{ }\mu\text{m}$ und $13\text{ }\mu\text{m}$ dick; lediglich bei Vitallium wird eine $50\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schicht durch Feinschleifen abgetragen, was durch die einbettmassebedingte, sehr raue Oberfläche nach dem Guß nötig ist. Durch anschließendes Feinstschleifen mit dem "Gummipolierer" werden $6\text{ }\mu\text{m}$ bis $12\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schichten abgetragen; hier zeigte sich, daß richtiges Feinschleifen entscheidend ist. Während der Vorversuche mit Phantommetall zeigten sich hier Veränderungen im $50\text{ }\mu\text{m}$ -Bereich, welche durch nicht abgestimmte Korngröße zwischen Fein- und Feinstschleifen verursacht waren. Bei der abschließenden Politur kann bei Degulor A sehr schnell eine hochglänzende Oberfläche erreicht werden, wobei die Dicke der abgetragenen Schicht nur $8,5\text{ }\mu\text{m}$ beträgt. Bei den anderen Legierungen werden Schichten von $16\text{ }\mu\text{m}$ bis $26\text{ }\mu\text{m}$ abgetragen, um Hochglanz zu erreichen. Die Schwankungen der Werte waren bei Ausarbeitung und Politur von Hand zu erwarten, sie traten aber auch bei der Bearbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten auf, obwohl hier für die Prüfkörper einer Legierung weitgehend gleiche Bedingungen vorlagen, was beim Ausarbeiten von Hand nicht zu erreichen ist.

Degulor A als weicheste der untersuchte Legierungen zeigte deutliche Aufwerfungen der Oberfläche nach dem Sandstrahlen, der Meßtaster setzt offensichtlich auf die aufgeworfenen Kraterränder auf und zeigte eine Zunahme der Prüfkörperstärke von $19\text{ }\mu\text{m}$ an. Dieser Effekt wird durch Glanzstrahlen noch verstärkt, es ergibt sich eine weitere Zunahme der Prüfkörperstärke um $36\text{ }\mu\text{m}$. Zusätzliche Versuche ergeben, daß durch Verlängerung der Strahldauer auf 60 s noch stärkere Aufwerfungen erzeugt werden ($74\text{ }\mu\text{m}$), wenn der Strahl im Winkel von 90° auftrifft; ändert man jetzt den Winkel auf 45° , so wird innerhalb 60 s eine $20\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schicht abgetragen. Bei einem unbehandelten Prüfkörper wird durch Sandstrahlen im Winkel von 45° innerhalb 60 s eine $19\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schicht abgetragen. Die Prüfkörper aus Degulor M zeigen leichte Verringerung ihrer Stärke beim Sand- und Glanzstrahlen; bei Palliag M wird die Oberfläche beim Sandstrahlen leicht aufgeworfen und dann beim Glanzstrahlen wieder etwa auf die ursprüngliche Stärke zurückgeführt. Bei Ceral zeigt sich beim Sandstrahlen eine kaum meßbare Veränderung, beim Glanzstrahlen wird eine $6,0\text{ }\mu\text{m}$ dicke Schicht abgetragen. Die Prüfkörper aus Vitallium zeigen sowohl beim Sand- als auch beim Glanzstrahlen eine Verringerung ihrer Stärke um jeweils etwa $26\text{ }\mu\text{m}$, was bei der sehr rauen Oberfläche nach dem Guß und dem hohen Betriebsdruck der Strahlgeräte zu erwarten war.

Beim elektrolytischen Glänzen ergibt sich für Degulor A und M ein Abtrag von etwa 130 μm , beide Legierungen zeigen anschließend eine glänzende Oberfläche.

Die Prüfkörper aus Palliag M zeigen nach Abtrag einer 74 μm dicken Schicht keinerlei Glanz, die Oberfläche bleibt stumpf. Bei Vitallium wird eine 26 μm dicke Schicht abgetragen, die Oberfläche glänzt. Die Prüfkörper aus Ceral zeigen nach dem elektrolytischen Glänzen leichten Glanz, wobei hier nur 12 μm abgetragen werden.

Die Platzhalterfolien des Adapta-Systems sind nach dem Tiefziehvorgang im Mittel 47,1 μm dick, wobei allerdings Schwankungen zwischen 22 μm und 64 μm vorkommen; bei längeren Stümpfen dürften die Minimalwerte noch niedriger liegen, da die Folie mit zunehmender Stumpflänge durch das Ziehen dünner wird.

Die Stumpflacke ergeben Schichtstärken zwischen 19,7 μm und 32,4 μm , wobei Minimalwerte um 10 μm häufiger vorkommen. Der untersuchte Nagellack zeigt eine mittlere Schichtstärke von 40 μm bei Minimalwerten um 30 μm . Die Schichtstärke der Stumpflacke hängt entscheidend von der Verarbeitbarkeit und damit von der Viskosität der Stumpflacke ab; sind diese etwas eingetrocknet oder zu stark verdünnt, resultieren nicht vorhersehbare Veränderungen der normalerweise zu erzielenden Schichtstärken.

Die Schichstärken, welche in der vorliegenden Arbeit sowohl für den Verlust bei Ausarbeitung und Politur als auch für die Materialeinsparung bei Verwendung von Platzhaltern ermittelt wurden, lassen sich mit Hilfe folgender Formel in die entsprechenden Materialverluste bzw. die entsprechende Materialeinsparung umrechnen, wenn man davon ausgeht, daß die Dicke der untersuchten Schichten an jeder Stelle der Prüfkörperoberfläche - zumindest im Mittel - gleich ist :

$$\underline{X = d \times \rho \times 10^{-4}}$$

X = Materialverlust in g/cm²

d = ermittelte Schichstärke in µm

ρ = Dichte in g/cm³

Dies ist allerdings nicht direkt auf den praktischen Laborbetrieb übertragbar, da an jedem gegossenen Objekt Stellen mit bewußt zu hoher Materialstärke vorhanden sind; besonders im Bereich der okklusalen und approximalen Kontaktpunkte wird stärker als nötig modelliert, um nach dem Gießen exakt einschleifen zu können. Auch beim Verschleifen einzelner Gußperlen und der Gußkanalansätze treten zusätzliche Materialverluste auf, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt wurden.

Da die Materialverluste beim Verschleifen der Gußkanalansätze entscheidend von dem zur Abtrennung des Gußstiftes verwendeten Verfahren abhängen und außerdem relativ einfach aus der sich nach dem Abtrennen ergebenden Länge des Gußkanalansatzes sowie seinem Durchmesser berechnet werden können, war eine Untersuchung nicht nötig. Gußperlen können bei richtiger Behandlung der Wachsmodele vor dem Einbetten und Einhaltung der Einbettvorschriften verhindert oder auf ein Minimum reduziert werden; auch ist ihr Rauminhalt leicht zu berechnen, da sie meist kugelförmig sind.

V. Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sollte die Dicke von Einzelschichten ermittelt werden, welche bis zum Erreichen einer hochglänzenden Oberfläche nacheinander von der gegossenen Oberfläche abgetragen werden müssen. Die Untersuchung wurde mit zwei verschiedenen Ausarbeitungsmethoden, der Ausarbeitung von Hand und der Ausarbeitung mittels Strahl- und Glänzgeräten, für 5 gebräuchliche Dentallegierungen durchgeführt. Hierbei wurden zur Ermittlung der Schichtstärke und Oberflächengestalt jeweils Dickentastermessungen und Oberflächenaufzeichnungen nach dem Tastschnittprinzip durchgeführt. Die einzelnen Bearbeitungsschritte wurden außerdem mittels REM-Abbildungen der Prüfkörperoberfläche dokumentiert. Die Bedingungen beim Ausarbeiten entsprachen denen im zahn-technischen Labor.

Der sich so ergebende Gesamtabtrag lag für die Ausarbeitung von Hand zwischen 20 μm und 90 μm , wobei lediglich bei Vitallium mehr als 70 μm abgetragen werden mußten, um Hochglanz zu erreichen; bei Degulor A und M waren es nur 20 μm bis 30 μm , bei Palliag M und Ceral etwa 40 μm . Bei der Ausarbeitung mittels Strahl- und Glänzgeräten lag der Gesamtabtrag für Ceral bei 16 μm , bei Degulor A, Palliag M und Vitallium bei 70 μm bis 90 μm und bei Degulor M bei 140 μm .

Zur Ermittlung der bei Verwendung von Platzhaltern resultierenden Schichtstärke wurden eine Platzhalterfolie, 5 Stumpflacke und ein herkömmlicher Nagellack untersucht. Die Stärke der Platzhalterfolie von 100 μm lag nach dem Tiefziehen bei durchschnittlich 47 μm ; die Stumpflacke wiesen Schichtstärken zwischen 20 μm und 30 μm auf; der untersuchte Nagellack hatte eine mittlere Schichtstärke von 40 μm .

VI. LITERATURVERZEICHNIS

1. ALMADENT Gold- und Silber-Präzisionsstumpf-
abdecklack -Anwendung-, Jan.1981
2. APPLGATE, O.C. Lehrbuch und Atlas des herausnehm-
baren partiellen Zahnersatzes
Medicaverlag, Stuttgart - Wien -
Zürich 1967
3. BEGO Adapta - Betriebsanleitung
4. BEGO Katalog : Geräte und Materialien
5. BEHNKE, H.-W. Goldverlust bei Herstellung eines
MOD-Inlays
Quintessenz Zahntechnik H. 3,
Ref. 136 (1976)
6. BREUSTEDT, A. Stomatologische Werkstoffkunde
LENZ, E. Johann Ambrosius Barth, Leipzig
1978
7. BRUNSWIK, M. Strahl-Verfahrenstechnik im Den-
tal-Labor
KIRCHHOFF, H. Dental-labor 28, 78 (1980)
8. CANNING, W. u. Co Ltd. Practical Handbook on Elektro-
Plating- Polishing, Bronzing,
Lacquering and Enameling 1940
9. DEGUSSA Goldglänzgerät 2, Arbeitsanleitung
10. DEGUSSA Katalog: Geräte und Hilfsmittel
für das zahntechnische Laboratorium

11. EICHNER, K. Metallkeramik in der zahnärztlichen
Prothetik
Carl Hanser Verlag, München-Wien
1979
12. EISENWERKE WÜRTH Strahlmittel-Lieferprogramm
13. ERKODENT Katalog : Tiefziehgeräte und Folien
14. FALK, K. Einführung in die Werkstoffkunde
für Zahnärzte
J.F. Lehmanns Verlag, München/Berlin
1948
15. HIRSING, E. Elektrolytisches Polieren von zahn-
ärztlichen Edelmetallen
Zahnärztliche Rundschau 63, 667
(1954)
16. JUNG, T. Schleif- und Poliermittel (Kap. 14)
in : Eichner: Zahnärztliche Werk-
stoffe und ihre Verarbeitung, Bd. I
Alfred Hüthig Verlag GmbH, Heidelberg
1981
17. KNISCHEWSKI, F. Materialkunde der Zahntechnik
Richard Pflaum-Verlag, München 1951
18. KNISCHEWSKI, F. Grundwissen für Zahntechniker
RAU, G. Werkstoffkunde : Metalle
Verlag Neuer Merkur, München 1975
19. KNISCHEWSKI, F. Grundwissen für Zahntechniker
GROSSE, G. Werkstoffkunde : Nichtmetalle
Verlag Neuer Merkur, München 1977

20. KÜHLER, H.-U. Moderne Zahntechnik heute
Buch- und Zeitschriftenverlag
"Die Quintessenz", Berlin, Chicago,
Rio de Janeiro, Tokio, 1977
21. KÜRBER, K. Zahnärztliche Werkstoffkunde und
LUDWIG, K. Technologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart,
New York, 1982
22. KUPPINGER, G. Strahlverfahren und Strahlmittel
Sonderdruck aus "Maschine und Werk-
zeug", H. 24 (1976) und H. 4(1977)
Verlag Karl Ihl + Co., Coburg
23. MARXKORS, R. Werkstoffe in der zahnärztlichen
Prothetik
Johann Ambrosius Barth, Frankfurt/M.
1972
24. MARXKORS, R. Propädeutik der zahnärztlichen Pro-
thetik
UTB, Heidelberg 1981
25. MARXKORS, R. Taschenbuch der zahnärztlichen
MEINERS, H. Werkstoffkunde
Carl Hanser Verlag, München-Wien
1978
26. MEISINGER Katalog : Schleifkörper
27. MILLER, Ch.J. Medica-Bildatlas, Inlays, Kronen,
Brücken
Medica-Verlag, Stuttgart, Wien,
Basel, 1965

28. OEBELS, K.-H. Vergleichende Abriebuntersuchungen
Med.Diss., Düsseldorf 1984
29. PFANNENSTIEL, H. Formgebung mit rotierenden Werkzeugen,
-Kritische Betrachtungen-
Dental-labor 26, 58 und 208 (1978)
30. SCHWICKERATH, H. Werkstoffe in der Zahnheilkunde
Buch- und Zeitschriftenverlag
"Die Quintessenz", Berlin, Chicago,
Rio de Janeiro, Tokio, 1977
31. SCHWICKERATH, H. Materialverlust bei zahntechnischen
Arbeiten - Untersuchung von Gold-
legierungen -
Dental-labor 29, 57 (1981)
32. SELBACH, F.W. Goldverlust im Laboratorium
Die Zahntechnik, Zürich, Juli 1951
33. SHILLINGBURG, H.T. Grundlagen der Kronen- und Brücken-
HOB0, S. u. prothetik
WHITSETT, L.D. Buch- und Zeitschriftenverlag
"Die Quintessenz", Berlin, Chicago,
Rio de Janeiro, Tokio, 1977
34. SONNTAG, Th. Messung einer durch Zahnbürsten ohne
Schleifmittel hervorgerufenen Abra-
sion an Kunststoffen
Med.Diss., Mainz 1974
35. SPIEKERMANN, H. Die Modellgußprothese
GRÜNDLER, H. Buch- und Zeitschriftenverlag
"Die Quintessenz", Berlin, Chicago,
Rio de Janeiro, Tokio, 1977

36. TROXELL, R.R. The polishing of gold castings
The Journal of Prosthetic Dentistry
9, 668 (1959)
37. WARKEN, L. Experimentelle Untersuchungen über
Rauhtiefen an galvanisierten Stumpf-
modellen
Med.Diss., Mainz 1975
38. WEBER-BOSCH, A. Goldverbrauch bei Kronen- und
 MEYER, F. Brückenarbeiten
Abdruck aus "Zahnärzteblatt Baden-
Württemberg" in Dental-labor 28,
1154 (1980)
39. WEIKART, P. Leitfaden der zahnärztlichen Werk-
stoffkunde
Carl Hanser Verlag, München 1950
40. WEIKART, P. Die Oberfläche von Metallen und
ihre Abhängigkeit von der Bearbei-
tung
Beilage : Prothetik und Werkstoff-
kunde 9
Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift
15, 549 (1960)
41. UVV: Schutz gegen gesundheitsge-
fährdenden mineralischen
 Staub
TRgA 503 Strahlmittel Sept. 1981

VII VOLLSTÄNDIGE TABELLEN DER MESSUNGEN (Werte in μm)

Legierung : DEGULOR A

I. Bearbeitung von Hand :

I : Bearbeitung mit Stein

II : Bearbeitung mit Gummipolierer

III : Politur mit Filzscheibe und Lederschwabbel

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
1	0,2 $\pm$ 1,9	5	- 8,2 $\pm$ 4,6	5	-16,7 $\pm$ 7,4	4	-22,0 $\pm$ 2,0	3
2	1,0 $\pm$ 2,4	5	-15,4 $\pm$ 9,6	5	-23,0 $\pm$ 8,1	3	-24,6 $\pm$ 2,3	3
3	3,0 $\pm$ 1,2	5	- 7,8 $\pm$ 3,3	5	- 5,3 $\pm$ 2,9	4	-17,2 $\pm$ 5,8	5
6	0,8 $\pm$ 2,9	4	- 1,6 $\pm$ 5,9	5	-12,4 $\pm$ 2,6	5	-27,4 $\pm$ 5,5	5
10	1,4 $\pm$ 2,4	5	- 5,8 $\pm$ 5,8	4	- 6,2 $\pm$ 3,0	5	-14,8 $\pm$ 4,7	5
$\bar{X}$	1,3 $\pm$ 1,1	5	- 8,3 $\pm$ 5,6	5	-12,7 $\pm$ 7,4	5	-21,2 $\pm$ 5,2	5

II. Bearbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten

I : Sandstrahlen

II : Glanzstrahlen

III : Elektrolytisches Glänzen

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
4	-3,0 $\pm$ 3,1	5	29,2 $\pm$ 5,5	5	59,8 $\pm$ 8,6	5	- 58,6 $\pm$ 10,5	5
5	-5,8 $\pm$ 3,1	5	33,4 $\pm$ 0,5	5	58,8 $\pm$ 4,3	5	- 51,2 $\pm$ 7,8	5
7	0,6 $\pm$ 0,9	5	3,5 $\pm$ 2,3	4	22,4 $\pm$ 3,8	5	- 62,4 $\pm$ 12,8	5
8	1,0 $\pm$ 1,9	5			118,4 $\pm$ 14,6	5	- 57,5 $\pm$ 14,2	4
9	-0,8 $\pm$ 2,8	5	5,2 $\pm$ 1,5	5	13,8 $\pm$ 2,8	4	-137,4 $\pm$ 19,1	5
$\bar{X}$	-1,6 $\pm$ 2,8	5	17,8 $\pm$ 15,6	4	54,6 $\pm$ 41,3	5	- 73,4 $\pm$ 36,0	5

Legierung : DEGULOR M

I. Bearbeitung von Hand :

I : Bearbeitung mit Stein

II : Bearbeitung mit Gummipolierer

III : Politur mit Filzscheibe und Lederschwabbel

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
11	0,4 $\pm$ 1,3	5	- 8,2 $\pm$ 1,3	5	-11,8 $\pm$ 4,1	4		
12	-1,0 $\pm$ 1,6	5	- 1,8 $\pm$ 4,0	5	-12,4 $\pm$ 9,6	5	-38,0 $\pm$ 5,2	5
14	3,0 $\pm$ 2,0	5	4,0 $\pm$ 1,6	4				
18	0,4 $\pm$ 0,5	5	-10,2 $\pm$ 2,6	5	-26,2 $\pm$ 5,1	5	-35,4 $\pm$ 6,0	5
20	-3,4 $\pm$ 1,1	5	- 6,8 $\pm$ 0,8	5	-11,3 $\pm$ 3,0	4	-22,5 $\pm$ 6,0	4
$\bar{X}$	-0,1 $\pm$ 2,3	5	- 4,6 $\pm$ 5,2	5	-15,4 $\pm$ 7,2	4	-32,0 $\pm$ 8,3	3

II. Bearbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten

I: Sandstrahlen

II: Glanzstrahlen

III: Elektrolytisches Glänzen

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
13	-0,2 $\pm$ 2,8	5	- 3,0 $\pm$ 2,9	5	- 5,4 $\pm$ 2,3	5	-140,2 $\pm$ 37,1	5
15	1,4 $\pm$ 1,8	5	2,6 $\pm$ 2,1	5	1,4 $\pm$ 0,9	5	-132,4 $\pm$ 40,4	5
16	-0,4 $\pm$ 2,4	5	3,2 $\pm$ 0,8	5	2,4 $\pm$ 3,5	5	-149,2 $\pm$ 44,4	5
17	-1,2 $\pm$ 1,1	5	2,6 $\pm$ 4,2	5	5,2 $\pm$ 4,1	5	-124,0 $\pm$ 20,0	4
19	-0,6 $\pm$ 4,0	5	-15,4 $\pm$ 12,7	5	-26,8 $\pm$ 8,8	5	-155,0 $\pm$ 12,8	5
$\bar{X}$	-0,2 $\pm$ 0,9	5	- 2,0 $\pm$ 7,9	5	- 4,6 $\pm$ 13,0	5	-140,2 $\pm$ 12,5	5

Legierung : PALLIAG M

I. Bearbeitung von Hand :

I : Bearbeitung mit Stein

II : Bearbeitung mit Gummipolierer

III : Politur mit Filzscheibe und Lederschwabbel

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
21	0,8 $\pm$ 2,9	5	- 2,8 $\pm$ 1,9	5	-14,2 $\pm$ 1,6	5	-20,4 $\pm$ 2,6	5
24	-0,6 $\pm$ 1,5	5	-13,2 $\pm$ 3,8	5	-15,8 $\pm$ 7,5	5	-73,2 $\pm$ 7,5	5
25	0,8 $\pm$ 2,2	5	-16,3 $\pm$ 2,1	4	-23,8 $\pm$ 4,8	5	-30,2 $\pm$ 4,5	5
28	2,8 $\pm$ 0,8	5	- 4,5 $\pm$ 1,3	4	-14,6 $\pm$ 3,6	5	-62,4 $\pm$ 10,7	5
29	-0,6 $\pm$ 1,8	5	- 5,2 $\pm$ 3,1	5	- 8,4 $\pm$ 3,2	5	-29,0 $\pm$ 2,3	5
$\bar{X}$	0,6 $\pm$ 1,4	5	- 8,4 $\pm$ 6,0	5	-15,4 $\pm$ 5,5	5	-43,0 $\pm$ 23,2	5

II. Bearbeitung mit Strahl- und Glanzgeräten

I: Sandstrahlen

II: Glanzstrahlen

III: Elektrolytisches Glänzen

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
22	1,4 $\pm$ 0,9	5	- 3,8 $\pm$ 1,1	5	- 7,4 $\pm$ 2,3	5	-100,8 $\pm$ 19,2	4
23	-1,8 $\pm$ 0,8	5	9,8 $\pm$ 2,2	5	8,2 $\pm$ 1,1	5	- 90,5 $\pm$ 8,2	4
26	1,4 $\pm$ 0,5	5	15,2 $\pm$ 0,8	5	15,0 $\pm$ 2,1	5	- 66,4 $\pm$ 5,9	5
27	5,0 $\pm$ 2,9	5	6,0 $\pm$ 4,8	5	5,0 $\pm$ 2,3	5	- 38,0 $\pm$ 8,6	5
30	0,0 $\pm$ 4,5	5	2,6 $\pm$ 2,3	5	7,4 $\pm$ 7,9	5	- 44,2 $\pm$ 18,0	5
$\bar{X}$	1,2 $\pm$ 2,5	5	5,9 $\pm$ 7,2	5	5,6 $\pm$ 8,2	5	- 68,0 $\pm$ 27,6	5

Legierung : VITALLIUM

I. Bearbeitung von Hand :

I : Bearbeitung mit Stein

II : Bearbeitung mit Gummipolierer

III : Politur mit Filzscheibe und Lederschwabbel

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
32	-2,2 $\pm$ 2,7	5	-53,8 $\pm$ 6,7	4	-79,0 $\pm$ 38,5	4	-114,0 $\pm$ 44,7	4
33	-0,4 $\pm$ 2,1	5	-40,8 $\pm$ 7,7	4	-61,0 $\pm$ 7,5	5	- 98,6 $\pm$ 16,1	5
34	2,4 $\pm$ 3,0	5	-52,2 $\pm$ 6,6	5	-72,2 $\pm$ 14,8	5	- 89,5 $\pm$ 13,4	4
36	0,8 $\pm$ 2,2	5	-54,2 $\pm$ 16,2	5	-39,0 $\pm$ 8,9	5	- 74,8 $\pm$ 14,9	5
38	-0,8 $\pm$ 2,6	5					- 67,3 $\pm$ 24,9	4
$\bar{X}$	0,0 $\pm$ 1,7	5	-50,2 $\pm$ 6,4	4	-62,8 $\pm$ 17,5	4	- 88,8 $\pm$ 18,7	5

II. Bearbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten

I : Sandstrahlen

II : Glanzstrahlen

III : Elektrolytisches Glänzen

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
31	3,4 $\pm$ 5,3	5	-20,0 $\pm$ 8,5	2	-95,8 $\pm$ 42,5	4		
35	-0,8 $\pm$ 4,3	5			-22,2 $\pm$ 7,1	5	-88,2 $\pm$ 17,4	5
37	1,6 $\pm$ 3,6	5	-28,0 $\pm$ 37,1	5	-73,3 $\pm$ 13,4	3	-58,0 $\pm$ 20,8	3
39	0,6 $\pm$ 2,8	5	-19,6 $\pm$ 7,5	5	-15,8 $\pm$ 6,2	4	-88,5 $\pm$ 5,2	4
40	-3,0 $\pm$ 2,1	5	-35,2 $\pm$ 7,2	5	-53,8 $\pm$ 6,8	4	-76,6 $\pm$ 19,6	5
$\bar{X}$	0,4 $\pm$ 2,4	5	-25,7 $\pm$ 7,4	4	-52,2 $\pm$ 33,8	5	-77,8 $\pm$ 14,3	4

Legierung : CERAL

I. Bearbeitung von Hand :

I : Bearbeitung mit Stein

II : Bearbeitung mit Gummipolierer

III : Politur mit Filzscheibe und Lederschwabbel

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
41	0,2 $\pm$ 3,3	5	-14,3 $\pm$ 4,0	4	-24,0 $\pm$ 9,5	5	-66,8 $\pm$ 11,4	5
42	0,8 $\pm$ 0,9	4	- 8,3 $\pm$ 4,5	5	-19,8 $\pm$ 3,8	5	-36,4 $\pm$ 5,5	5
44	0,6 $\pm$ 1,5	5	-15,8 $\pm$ 2,5	5	-25,6 $\pm$ 3,4	5	-36,0 $\pm$ 2,5	5
48	-1,4 $\pm$ 1,1	5	-15,4 $\pm$ 1,1	5	-25,4 $\pm$ 1,7	5	-36,2 $\pm$ 3,0	5
50	-0,6 $\pm$ 2,4	5	-12,2 $\pm$ 7,0	5	-16,2 $\pm$ 3,0	5	-21,2 $\pm$ 1,8	5
$\bar{X}$	-0,1 $\pm$ 0,9	5	-13,2 $\pm$ 3,1	5	-22,2 $\pm$ 4,1	5	-39,3 $\pm$ 16,7	5

II. Bearbeitung mit Strahl- und Glänzgeräten

I: Sandstrahlen

II: Glanzstrahlen

III: Elektrolytisches Glänzen

Nr.	Referenz	n	I	n	II	n	III	n
43	3,4 $\pm$ 2,7	5	-1,2 $\pm$ 4,3	5	- 0,6 $\pm$ 3,4	5	-17,4 $\pm$ 3,0	5
45	3,4 $\pm$ 3,1	5	3,2 $\pm$ 1,9	5	- 3,8 $\pm$ 3,2	5	-15,2 $\pm$ 4,1	5
46	2,4 $\pm$ 2,7	5	8,8 $\pm$ 1,6	5	- 0,6 $\pm$ 3,8	5	-12,2 $\pm$ 1,1	5
47	2,4 $\pm$ 2,4	5	-3,0 $\pm$ 1,2	5	-13,4 $\pm$ 4,2	5	-19,6 $\pm$ 2,6	5
49	0,0 $\pm$ 0,8	5	3,2 $\pm$ 1,3	5	- 2,8 $\pm$ 4,1	5	-15,2 $\pm$ 6,3	5
$\bar{X}$	2,3 $\pm$ 1,4	5	2,2 $\pm$ 4,6	5	- 4,2 $\pm$ 5,3	5	-15,9 $\pm$ 2,8	5

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H. Marx für die Überlassung des Themas und die stetige Bereitschaft, die auftauchenden Probleme zu diskutieren.

Herrn Prof. Dr. K. Fuhr danke ich für die Erstellung des 2. Gutachtens.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. E. Stender für die aufmerksame Betreuung und Beratung sowie für die Anfertigung der REM-Abbildungen und Herrn U. Kohlhaas für die Betreuung während der Versuche.

Den Mitarbeitern des Dental-Labors W. Kimmel GmbH, Mainz sowie des zahntechnischen Laboratoriums der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der ZMK Mainz, danke ich für die Hilfe bei der Herstellung der Prüfkörper sowie für die großzügige Überlassung der Ausarbeitungsgeräte.

Für die freundliche Bereitstellung der Legierungen gilt mein Dank der Firma Degussa AG, Frankfurt sowie dem Dental-Labor W. Kimmel GmbH, Mainz.

LEBENS LAUF

Am 14. August 1957 wurde ich als erstes von drei Kindern der Eheleute Manfred Schmidt und Frau Anni, geb. Müller in Wallmerod geboren.

1964 wurde ich in die Grundschule in Wallmerod eingeschult. Ab 1967 besuchte ich den altsprachlichen Zweig der Tilemannschule in Limburg/Lahn, wo ich am 18. Mai 1976 die Reifeprüfung bestand.

Vom 1. Juli 1976 bis 30. September 1977 leistete ich meinen Grundwehrdienst beim Heer an der Ostsee und in der Lüneburger Heide ab.

Am 1. Oktober 1977 begann ich eine Ausbildung zum Zahntechniker im zahntechnischen Laboratorium Müller, Neuwied, die ich am 30. September 1978 abbrach.

Im Oktober 1978 begann ich mit dem Studium der Zahnmedizin an der Johannes Gutenberg-Universität in Mainz.

Im September 1979 bestand ich die naturwissenschaftliche Vorprüfung; im März 1981 die zahnärztliche Vorprüfung.

Am 4. März 1983 heiratete ich Edith Hoffmann aus Molsberg.

Zur Zeit befinde ich mich im Examenssemester.

